第40卷 第3期
2023年3月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 40 No. 3
Mar. 2023

近30 a拉萨河流域土地利用变化和生境质量的时空演变特征

王 鹏[1]， 秦思彤[2]， 胡慧蓉[1]

（1. 西南林业大学生态与环境学院，云南 昆明 650224； 2. 西南林业大学林学院，云南 昆明 650233）

摘 要：为明晰高原流域土地利用变化时空特征及其对生境质量的影响，以典型高原流域——拉萨河流域为例，基于GEE平台和随机森林分类算法，解译拉萨河流域1990—2020年土地利用信息，分析30 a间土地利用的时空动态变化特征，并结合InVEST模型评估流域生境质量，探讨流域生境质量变化特征。研究结果表明：针对高寒高海拔地区的土地利用分类问题，筛选植被生长季，用相邻年份的影像进行补充和替换缺失的数据，并去云后生成的年度合成影像，提高了地类分类效率和精度；建立了一种结合Landsat影像光谱特征、纹理特征和地形特征的最优RF分类模型，实现了对高原流域土地利用信息的提取，OA、Kappa系数和F1-score分别在88.16%、0.84和0.70以上；20世纪90年代以来，拉萨河流域土地利用变化特征整体表现为“五增三减”，草地、建设用地、林地、湿地和水域面积增加，耕地、冰川及永久积雪和未利用地面积减少，其中，建设用地的增长幅度最大，达到288.35%，而耕地缩减最多，达50.18%，且耕地减少主要是受到城镇范围扩张的挤占；未利用地面积减少最为显著，其转出部分主要转化为草地；研究期内高质量生境主要分布在流域下游、西南侧以及源头区域，以草地、水体、冰川及永久积雪和湿地等土地利用类型为主；而拉萨市市辖区、达孜区、林周县、曲水县和墨竹工卡县县城周边，以及流域中上游的未利用地等区域生境质量较差；流域整体生境质量呈“先减后增再减然后趋缓”的变化趋势，生境质量指数从0.53提升到0.57；人口增加和快速城镇化加快了城镇范围扩张和耕地的减少，但气候变化和生态治理工程对拉萨河流域的生境质量改善均起到了积极作用；本研究可为制定高原地区流域生态修复策略、促进土地利用可持续以及提升生境质量提供科学依据与参考。

关键词：土地利用；GEE平台；InVEST模型；生境质量；时空演变；青藏高原

生境质量是衡量区域生态环境为个体或种群持续发展提供生存条件能力的衡量标准，是区域生物多样性水平的具体反映[1-2]。但是，全球气候变化和人类活动带来的土地利用变化严重影响区域生境的时空分布格局，从而对生境质量产生影响[3]。因此，通过解译不同空间尺度的土地利用信息并评估其生境质量，进而揭示区域土地利用和生境质量变化规律及空间分异特征，对生态文明建设下的空间治理具有重要意义。

青藏高原作为对全球气候和人类活动变化响应最敏感的区域[4]，具有生态环境脆弱、经济社会发展较落后等特征[5]，在高原生态修复与土地整治研究方面具有典型性。已有研究表明，青藏高原土地利用空间布局差异显著，人口随流域分布且相对集中[6]，流域作为自然要素与人文要素相互关联、相互作用的地理单元和城市发展过程中人类活动的载体[7]，具有良好的生态完整性[8]，但社会经济快速发展和快速城镇化为其带来了日益严重的环境问题。土地利用格局不断变化，生态环境压力不断升级，导致流域生态系统产生景观空间破碎[9]、土地退化[10]、水资源短缺[11]和水环境污染[12]等问题。探究流域土地利用变化，提升流域生境质量，有利于优化流域土地利用开发保护格局，确保生态系统健康可持续。而有关青藏高原土地利用和生境质量变

收稿日期：2022-08-18； **修订日期：**2022-10-25
基金项目：西南林业大学科研启动基金项目（112115）
作者简介：王鹏（1997-），男，硕士研究生，主要从事水土保持与荒漠化防治研究. E-mail: wangpeng1997@swfu.edu.cn
通讯作者：胡慧蓉. E-mail: 1458719615@qq.com

化的研究，仅有部分学者采用大尺度、低分辨率的土地利用数据进行定量描述[4,6]或者仅针对某单一土地利用类型的时空变化进行研究[13]，忽视了城市流域具有土地利用多样性和生态系统完整性在该研究领域的典型性。

拉萨河流域地处青藏高原中南部，位于西藏自治区社会、经济、文化中心地带，是典型的高原城市流域。本研究基于GEE（Google Earth Engine）平台，选取拉萨河流域1990—2020年7期Landsat系列影像数据，构建光谱、纹理和地形3种分类特征，利用随机森林（Random Forest, RF）算法进行土地利用分类，通过分析流域30 a长时间序列下的土地利用变化特征，结合InVEST模型评估研究期内生境质量变化，旨在探索RF方法和Landsat数据在高原城市流域土地利用分类中应用的可行性，为制定青藏高原流域生态恢复策略，提升流域生态系统服务功能，促进土地利用可持续发展提供科学依据。

1　数据与方法

1.1　研究区概况

拉萨河流域（90°05′~93°20′E，29°20′~31°15′N）位于西藏自治区中南部（图1），是雅鲁藏布江的一级支流，流域面积32548 km²，属高原温带半干旱季风气候，多年平均降雨量约500 mm，多年平均气温约为7 ℃，平均相对湿度约45%，流域北部地形平

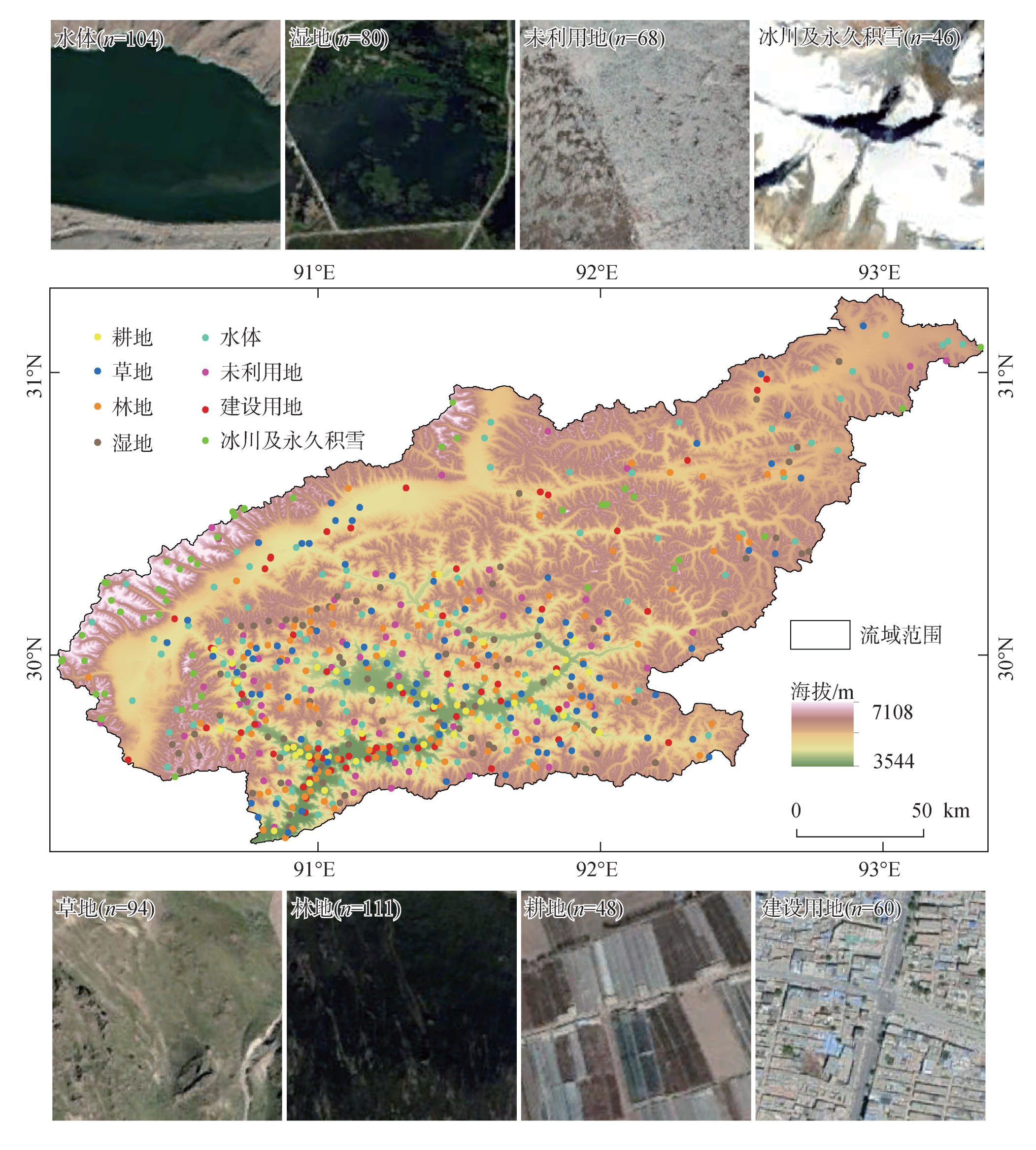


图1　拉萨河流域概况及高分辨率影像验证样本点分布

Fig. 1　Overview of Lhasa River Basin and distribution of high-resolution image verification sample points

坦,往南地形起伏度逐渐增大,包含山地、盆地和河谷平原等地形,流域内分布有季节性冻土和冰川,最大积雪厚度达11 cm,植被类型主要是高山草甸和高山草原等,垂直分带较为明显,是西藏自治区人口密集区和经济发展的核心区以及重要的农产品生产区。

1.2 数据来源与处理

1.2.1 *数据来源与获取* GEE是一个基于网络的地理空间分析和数据处理平台,储存了PB级的遥感影像和地球科学数据集,为科研人员提供了一个具有行星级运算处理能力和内在并行处理方式的数据采集、处理和分析的平台[14]。本研究使用Landsat TM、OLI地表反射率数据集和SRTM数字高程数据来解译拉萨河流域1990年、1995年、2000年、2005年、2010年、2015年和2020年7 a的土地利用数据,所有数据的空间分辨率均为30 m。

Landsat TM、OLI地表反射率数据和SRTM数字高程数据的所有处理均在GEE平台(https://earthengine.google.com)上进行。主要包括以下几个步骤:(1)为了纠正高寒高海拔地区光学影像多云的问题,选取了每年植被生长季(5—9月)的地表反射率数据,用每个研究年份前后的影像替换或补充云雾覆盖的影像,分别得到了1990年、1995年、2000年、2005年的77景、143景、133景、216景Landsat 5 TM影像和2010年、2015年271景、340景Landsat 7 ETM+影像和2020年413景Landsat 8 OLI影像。(2)对云量小于20%的影像进行了去云处理。(3)利用reducer函数对影像进行中值合成,得到每个研究年的单幅影像。(4)构建分类特征集来提高分类精度,计算每幅影像的归一化植被指数(NDVI)[15]、归一化建筑指数(NDBI)[16]、归一化水指数(NDWI)[17]、植被水分含量指数(LSWI)[18]。利用灰度共生矩阵(Gray-level Co-occurrence Matrix,GLCM)提取影像纹理特征,用glcmTexture函数计算了角二阶矩、对比度、相关性、方差、逆差距、熵等6个常用的纹理特征[19];并提取了STRMGL1_003数字高程数据的海拔、坡度、坡向、山体阴影等4个地形特征。上述步骤完成后,得到了每个研究年用于土地利用解译的最佳遥感影像图。

1.2.2 *分类与精度评价* 参照《土地利用现状分类》(GB/T21010−2017),结合研究区土地利用现状和特点,将土地利用类型分为水体、林地、草地、耕地、建设用地、未利用地、湿地和冰川及永久积雪8类。本研究采用融合多特征要素的土地利用分类框架(图2),根据不同地物在不同波段组合下存在的特征差异(包括形状、颜色、纹理),采用在GEE上直接标注的方法选取用于土地利用分类的样本数据,共选取样本总数17472个(其中80%作为训练样本,20%用于精度验证)。为了进一步验证地物分类的准确性,本研究使用随机采样方法在Google Earth历史高分辨率影像中收集了所有研究年份共611个随机验证点对结果进行评估(图1)。

研究表明,相同条件下,RF随机森林算法对数据噪声和过拟合有较好的处理能力[20],并且相较于其他机器学习算法的分类精度较高[21],因此,本研究选择了RF作为分类器。决策树数量对分类精度具有重要的影响[22],综合考虑分类精度和硬件性能,将决策树数量设置为ntree=50,基于获取的样本,在GEE平台中使用ee. Classifier. smileRandomForest函数,获得每个研究年的土地利用分类图。

1.3 研究方法

1.3.1 *土地利用动态度* 土地利用动态度分为单一土地利用动态度(L)和综合土地利用动态度(L_c)。

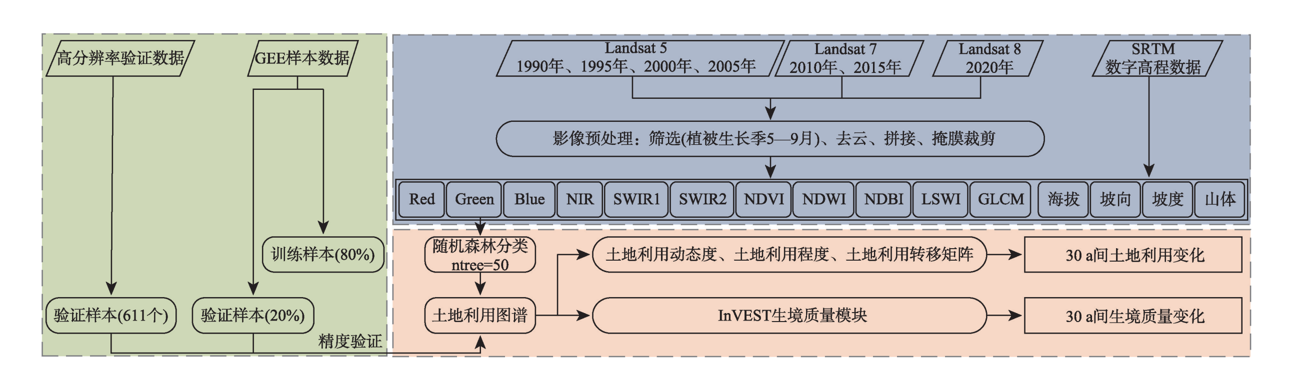


图2 技术路线

Fig. 2 Technical route

单一土地利用动态度用来表征研究区内某土地利用类型在一定时间范围内的数量变化情况；综合土地利用动态度则表征在一定时间范围内研究区所有土地利用类型的整体数量变化情况，其计算公式分别为[23]：

$$L = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \qquad (1)$$

$$L_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta L_{i,j}}{L_{ui}} \frac{1}{T} \times 100\% \qquad (2)$$

式中：L为单一土地利用动态度；U_a和U_b分别为研究区初期和末期某土地利用类型的面积；L_c是综合土地利用动态度；L_{ui}是研究初期第i类土地利用类型的面积；$\Delta L_{i,j}$是研究期内第i类土地利用类型转变为非i类土地利用类型面积的绝对值；T为研究期（年）。

1.3.2　土地利用程度　土地利用程度综合反应了在自然因素和社会因素的共同影响下，对土地资源利用的广度和深度。土地利用程度综合指数依据不同地类进行分级赋值（本研究将未利用地、冰川及永久积雪、湿地赋值为1；林地、草地、水体为2；耕地为3；建设用地为4），用来表征研究区土地利用的集约程度，其计算公式为[24]：

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^{n} A_i \times C_i, \quad L \in [100, 400] \qquad (3)$$

式中：L为研究区土地利用程度综合指数；A_i为研究区内第i级土地利用程度分级指数；C_i为研究区内第i级土地利用程度分级面积百分比；n为土地利用程度分级数。

1.3.3　土地利用转移矩阵　土地利用转移矩阵可用来刻画和描述区域土地利用变化的结构特征和土地利用类型变化的方向，其数学形式为：

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2n} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \cdots & S_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \qquad (4)$$

式中：S代表面积；n代表土地利用类型数；i、j分别代表研究初期与末期的土地利用类型。

1.3.3　InVEST生境质量模块　根据不同生境对胁迫因子的敏感度不同，建立不同地类与胁迫因子间的联系，通过计算生境质量指数来评估研究区在每个研究年的生境质量空间分布及变化情况，取值范围介于0~1，数值越大，代表生境质量越高[25]。模型中涉及的主要参数包括土地利用数据、胁迫因子数据、各胁迫因子的最大影响距离和距离衰减函数、各胁迫因子的权重、不同土地覆盖类型的生境适宜度及其对胁迫因子的敏感度。参考相关文献[25-27]，并根据拉萨河流域实际情况及专家建议进行相应参数赋值（表1，表2）。

2　结果与分析

2.1　分类精度评价

分类结果表明，1990年、1995年、2000年、2005年、2010年、2015年和2020年总体精度分别为

表1　胁迫因子属性表

Tab. 1　Attribute table of stress factors

胁迫因子	最大影响距离/km²	权重	衰减函数
耕地	6	0.7	线性
建设用地	10	1	指数
未利用地	5	0.3	指数

表2　不同土地利用类型的生境适宜度及其对胁迫因子的敏感度

Tab. 2　Habitat suitability of different land use types and their sensitivity to stress factors

土地利用类型	生境适宜度	对胁迫因子的敏感度		
		耕地	建设用地	未利用地
冰川及永久积雪	1	0.6	0.8	0.3
草地	0.79	0.3	0.3	0.6
耕地	0.25	0.3	0.3	0.4
建设用地	0	0	0	0
林地	0.68	0.8	0.9	0.5
湿地	1	0.7	0.9	0.4
水体	1	0.8	0.8	0.3
未利用地	0	0	0	0

90.5%、92.18%、88.16%、91.22%、92.72%、96.19%、93.78%，Kappa系数分别为0.88、0.91、0.84、0.89、0.91、0.95、0.92，混淆矩阵显示每种土地利用类型的详细分类精度（表3），总体分类精度满足土地利用分类的要求。此外，为了进一步验证分类精度，将其与高分辨率影像上选取的样本进行了比较，结果表明：对冰川及永久积雪、草地、林地和湿地的分类准确度较好（F1-score分别为0.96、0.91、0.92和0.91），耕地和水体次之（F1-score分别为0.82和0.88），未利用地和建设用地稍差（F1-score分别为0.72和0.70）。

2.2 拉萨河流域土地利用变化分析

2.2.1 土地利用时空动态 拉萨河流域土地利用类型以草地和未利用地为主，研究期各地类变化特征具体表现为"五增三减"，草地、建设用地、林地、湿地和水域面积增加，耕地、冰川及永久积雪和未利用地面积减少（图3，图4）。其中，草地作为拉萨河流域面积最大的地类，1990—2020年面积占流域总面积的比例均高于49%，广泛分布于流域内；从面积变化幅度而言，建筑用地面积增长幅度最大，从1990年的22.57 km^2，增长至2020年的87.65 km^2，增长幅度高达288.35%，集中分布在拉萨市辖区；耕地面积缩减最快，达-50.18%，主要分布在流域中下游的林周县南部地区、墨竹工卡县中西部、达孜区、城关区和曲水县。

2.2.2 土地利用动态度 研究期流域土地利用综合动态度呈"先增后减"的变化趋势，在2005—2010年达到最大值3.56%，表明该时期人类活动对土地利

表3 分类精度

Tab. 3 Classification accuracy

土地利用类型	1990年		1995年		2000年		2005年		2010年		2015年		2020年	
	PA	UA	PA	UA	PA	UA	PA	UA	PA	UA	PA	UA	PA	UA
水体	91.89	97.14	90.63	93.55	89.19	94.29	95.24	95.24	92.00	97.87	97.67	95.45	97.14	97.14
林地	93.02	95.24	97.62	95.35	92.96	88.00	95.83	94.52	93.64	94.19	96.98	98.09	96.80	93.81
草地	90.36	85.23	89.71	91.04	90.87	86.70	91.71	84.69	93.68	90.20	98.15	95.13	94.64	92.71
耕地	91.11	89.13	88.89	90.24	78.23	94.87	80.77	93.33	88.37	90.48	89.87	98.61	84.38	94.74
建设用地	75.00	82.46	90.00	69.23	82.35	93.33	92.00	95.83	90.00	96.43	90.91	78.96	87.88	96.67
未利用地	96.34	89.77	98.48	92.86	91.67	86.43	93.96	93.44	95.53	94.38	97.27	95.03	95.31	95.81
冰川及永久积雪	66.67	97.68	71.43	89.54	73.84	87.50	86.67	92.75	66.67	76.92	85.45	97.42	86.15	93.45
湿地	79.31	92.00	83.33	89.28	70.83	89.47	78.13	87.68	81.08	93.75	94.74	92.31	90.00	88.52
OA	90.50		92.78		88.16		91.22		92.72		96.19		93.78	
Kappa	0.884		0.909		0.844		0.886		0.905		0.949		0.918	

注：PA为生产者精度；UA为用户精度；OA为总体精度。

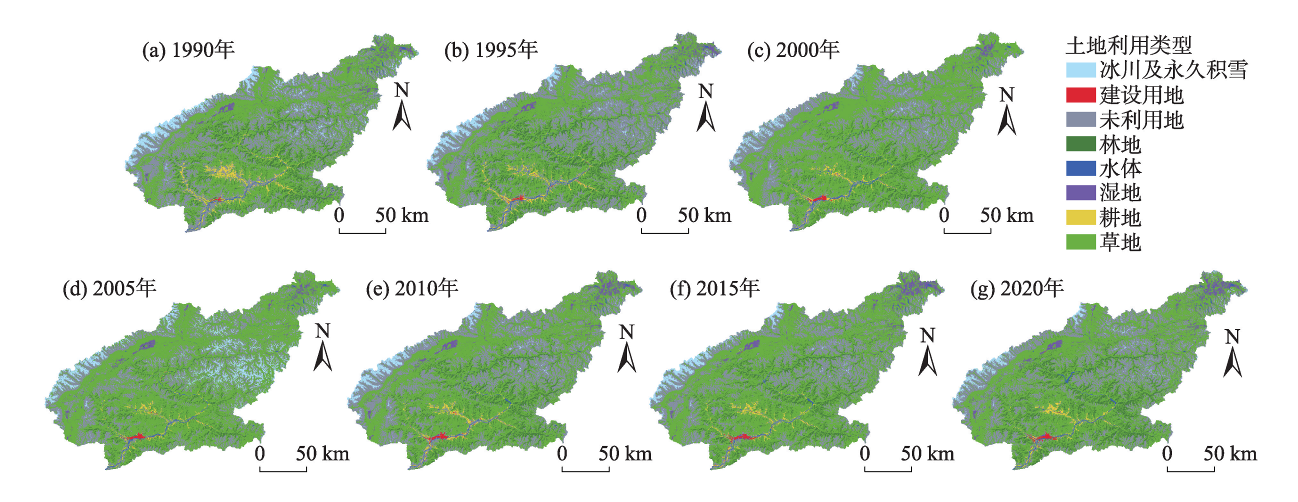


图3 1990—2020年拉萨河流域土地利用图谱

Fig. 3 Land use map of Lhasa River Basin from 1990 to 2020

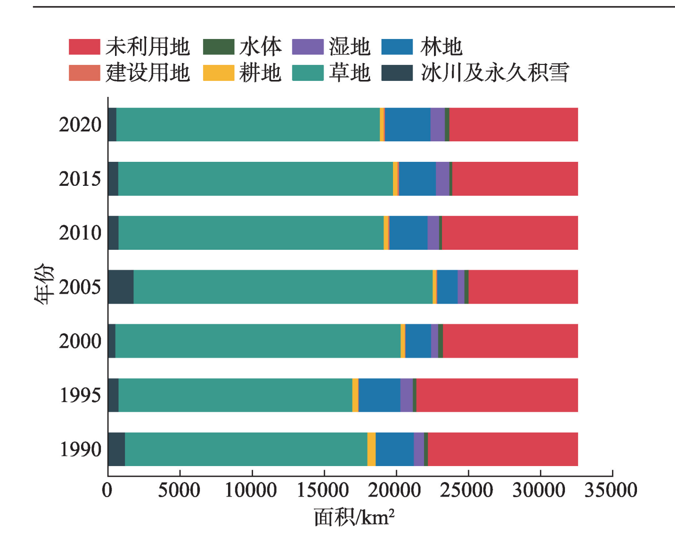


图4　1990—2020年拉萨河流域土地利用结构

Fig. 4　Land use structure in Lhasa River Basin from 1990 to 2020

用的影响最为强烈(表4)。从单一土地利用动态度来看，30 a间，建设用地面积持续增加，1990—1995年增幅最大，达到22.11%，随后快速减小，2015—2020年仅为0.1%，表明城镇化由快速转为平稳推进的状态。研究期内，草地面积变化呈“减—增—增—减—增—减”，与林地和未利用地面积变化趋势相对应，表明它们之间的转化可能具有一致性。冰川及永久积雪在2000—2005年面积大幅增加，达到45.58%，相关研究[28]表明，2000—2004年拉萨河流域气温出现较大幅度降低，从而导致冰川及永久积雪面积增加。湿地和水体面积总体呈增加趋势，研究期内分别增加40.4%和12.83%，全球气候变暖加速冰雪消融是该地类面积增加的主要原因。

2.2.3　土地利用程度　流域土地利用程度综合指数呈“先增后减”变化，其值介于162.20~171.15，2005年达到最大值，随后有所减小(图5)。土地利用程度随海拔高度的增加呈先下降后趋缓特征，城关区、达孜区、堆龙德庆区、林周县、墨竹工卡县、曲水县等土地利用程度相对较高，与这些区域平均海拔相对较低(介于3500~4500 m)有关，其人类经济建设生产活动频繁、土地利用综合开发程度相对较高；当雄县、嘉黎县、色尼区等高海拔区域土地利用程度较低，分别为157.26、159.21、152.31；平均土地利用程度综合指数均低于160，而比如县、桑日县的部分区域基本为草地，导致土地利用程度综合指数偏高。

2.2.4　土地利用转移特征　研究期内流域各地类之间转换频繁(图6，表5)。其中未利用地是草地转入面积最多的地类，说明流域近年来生态修复与绿化工程发挥了重要作用；建设用地转入面积远大于转出面积，主要是为满足人口向城镇集聚、生产生活用地需求增加，大面积的草地、耕地和未利用地被挤占与开发，三者分别向建设用地转入了28.96 km²、19.46 km²和19.38 km²；冰川及永久积雪转出面积远大于转入面积，再次表明全球气候变暖加剧了高原区域的冰雪消融；林地转入面积约为转出面积的2倍，说明流域多年实施的退耕还林还草工程取得了显著成效；湿地和水域转入面积远大于转出面积，说明流域内水环境治理得到了较好的效果；综合表明流域生态环境治理效果较好。

2.2　拉萨河流域生境质量变化

2.2.1　生境质量空间分布　根据模型计算结果(图7)，1990年、1995年、2000年、2005年、2010年、2015年和2020年拉萨河流域的生境质量指数平均值分别为0.53、0.51、0.56、0.61、0.56、0.58和0.57，整体呈

表4　不同时期拉萨河流域土地利用动态度指数

Tab. 4　Land use dynamic index of Lhasa River Basin in different periods　/%

土地利用类型	1990—1995年	1995—2000年	2000—2005年	2005—2010年	2010—2015年	2015—2020年
冰川及永久积雪	-7.03	-5.83	45.58	-11.38	-1.02	-3.53
草地	-0.74	4.43	0.95	-2.26	0.72	-0.82
耕地	-6.13	-6.07	-1.39	3.84	1.47	-2.68
建设用地	22.11	4.71	4.06	3.39	1.12	0.1
林地	1.94	-7.75	-4.14	17.85	-0.54	4.4
湿地	4.23	-8.28	-0.57	12.55	2.92	1.83
水体	0.03	3.59	-2.34	-4.86	1.55	6.53
未利用地	1.53	-3.29	-3.84	4.89	-1.53	0.52
综合土地利用动态度	2.95	3.35	3.35	3.56	1.99	2.00



图5 全流域及各区(县)土地利用程度综合指数

Fig. 5 Comprehensive index of land use degree of the whole basin and districts (counties)

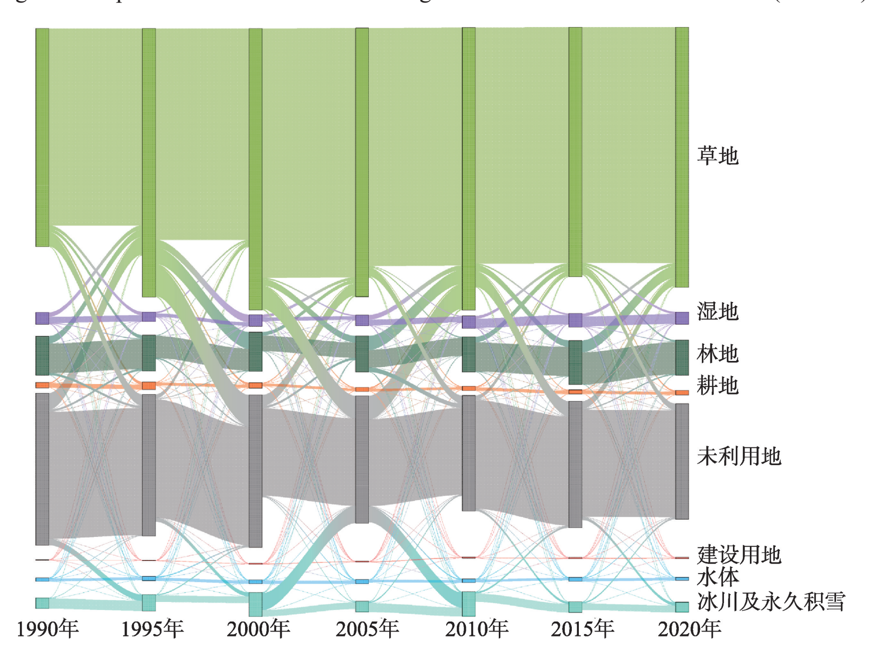


图6 1990—2020年拉萨河流域土地利用变化转移方向

Fig. 6 Transfer direction of land use change in Lhasa River Basin from 1990 to 2020

"先减后增再减然后趋缓"变化。流域下游、西南侧以及源头区域生境质量较好,以草地、湿地和冰川及永久积雪等土地利用类型为主;拉萨市市辖区、达孜区、林周县、曲水县和墨竹工卡县县城周边,以及流域中上游等区域生境质量较差;1990—2000年生境质量空间格局基本未发生变化,而2000—2005年流域中部生境质量大面积提升,原因是中部冰川及永久积雪面积大幅增加;2010—2020年,流域生境质量空间分布格局逐渐恢复且生境质量明显提升。

2.2.2 生境质量转移特征 根据生境质量评估结果,将拉萨河流域生境质量划分为差(0~0.2)、一般(0.2~0.5)、良好(0.5~0.8)和优(0.8~1)共4个级别。1990—2020年流域11.72%的区域生境质量等级升

表5 1990—2020年拉萨河流域土地利用转移矩阵

Tab. 5 Land use transfer matrix of Lhasa River Basin from 1990 to 2020

1990年	2020年								
	冰川及永久积雪	草地	耕地	建设用地	林地	湿地	水体	未利用地	总计
冰川及永久积雪	–	85.06	0	0	0.00	1.60	0.63	604.68	691.98
草地	45.99	–	50.24	28.96	762.01	433.41	49.78	420.29	1790.68
耕地	0	306.64	–	19.46	4.62	7.27	13.88	20.11	371.98
建设用地	0	2.92	0.93	–	0.03	0.14	1.44	1.09	6.55
林地	0	336.67	0.16	0.46	–	24.74	0.81	73.86	436.70
湿地	0	176.91	0.44	0.21	14.84	–	9.15	1.85	203.41
水体	2.46	32.54	3.12	3.17	1.33	14.72	–	38.03	95.36
未利用地	47.23	2301.56	33.38	19.38	173.85	5.80	54.36	–	2635.55
总计	95.68	3242.30	88.28	71.63	956.69	487.67	130.05	1159.91	–

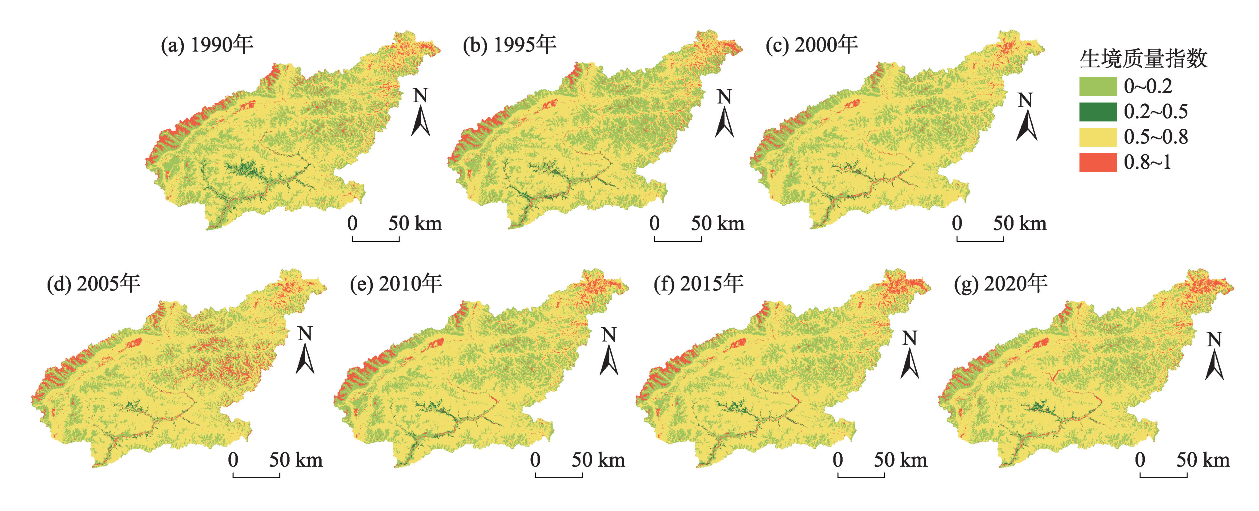


图7 1990—2020年拉萨河流域生境质量空间分布及其变化

Fig. 7 Spatial distribution and change of habitat quality in Lhasa River Basin from 1990 to 2020

高,向“良好”和“优”转换,3.93%的区域生境质量下降,以“良好”和“优”向“差”转换为主(表6);1990—2000年8.02%的生境状况得到改善(差和一般向良好和优转换),4.04%的区域生境质量水平降低;2000—2010年转换为“良好”和“优”的面积占比分别为2.72%和0.96%,低等生境质量恢复缓慢,与第一个10 a的生境状况基本保持不变,只有小部分生境质量上升;2010—2020年4.4%的区域生境质量水平提高,而2.86%的区域下降;整体而言,1990—2020年流域的生境状况有所提升,质量下降区主要位于城市及其周边,拉萨市市辖区下降最为显著且呈现明显的聚集状态,可能是由于人口增长,城市建成区扩张,建设用地面积增加,进而对周围生境质量造成威胁,致使该区域生境质量下降。30 a间流域内有19.15%的区域土地利用类型发生了变化,主要发生在未利用地向草地的转移,相较于1990年2020年草地面积增加了1475.64 km^2。建设用地、耕地等生境胁迫因子未发生较大变化,建设用地、耕地变化与生境质量变化的最大相关性仅为0.001、0.003,因此,研究期内生境质量发生变化的主导因子是未利用地面积的减少,流域整体生境质量也从0.53提升到0.57。

3 讨 论

如前文所述,2种分类精度验证方法均显示本研究生产的拉萨河流域土地利用数据准确可靠,构建的14种分类特征、采用Landsat系列数据和RF算法在高寒高海拔地区的土地利用分类中的应用是可行的,与侯蒙京等[29]对高寒湿地地区土地覆盖分类方法的研究结果是一致的。但是仍然存在一定的局限性,一是生产的土地利用数据的质量受到Landsat影像质量和数量的影响,由于高海拔地区光照强度较高,沙化地和不透水面呈现相似的反射特

表6 1990—2020年生境质量等级转移矩阵

Tab. 6 Habitat quality grade transfer matrix from 1990 to 2020

时段	生境质量等级	差	一般	良好	优
1990—2000年	差	–	10.57	2166.61	125.04
	一般	11.75	–	295.88	21.58
	良好	587.75	25.42	–	234.86
	优	699.25	1.06	491.33	–
2000—2010年	差	–	18.10	835.27	310.36
	一般	21.47	–	51.32	3.19
	良好	968.82	76.38	–	475.97
	优	248.65	11.30	115.19	–
2010—2020年	差	–	27.75	1132.69	197.46
	一般	18.71	–	98.06	4.95
	良好	564.91	65.17	–	394.84
	优	292.00	7.56	179.55	–
1990—2020年	差	–	34.40	2497.44	110.28
	一般	39.76	–	311.14	21.26
	良好	543.06	50.57	–	559.03
	优	648.76	3.59	315.85	–

征，导致本研究未利用地和建设用地分类时易误分或错分；其次，本研究中地物分类使用的训练集和验证集均为人工目视采集，会给数据生产和精度评估带来一定程度的不确定性。

土地利用变化与人类活动密切相关，生活和生产增加对不同土地利用类型的需求，人口增长和城市化增加建设用地转入面积，开发建设活动驱动有限的土地资源频繁转换。1990—2020年拉萨市常住人口增加51.06×10^4人；2006—2020年GDP增长575.77×10^8元，旅游业的快速发展、二三产业比例不断攀升，导致城镇范围扩张，挤占周围耕地；30 a间草地和未利用地之间的相互转换面积达2721.85 km^2，是变化量最大的地类转换，与陈伊多等[5]对西藏自治区土地利用变化的研究结果一致。1995—2018年青藏高原草地和建设用地持续增加，耕地、未利用地及冰川面积减少[6]，于本研究得出的1990—2020年拉萨河流域土地利用变化表现为"五增三减"，草地、建设用地、林地、湿地和水域面积增加，耕地、冰川及永久积雪和未利用地面积减少结果相近。此外，本研究表明，1990—2020年拉萨河流域整体生境质量由0.53提升至0.57，2005年达到最大值，2010年、2015年和2020年整体生境质量分别为0.56、0.58和0.57，较2005年略有下降，与税燕萍等[25]对生境质量的研究结果有偏差，这可能是由于空间分辨率、数据源和分类方法的不同导致不同的土地利用产品之间存在较大差异造成的。

目前，对生境质量的评估一般从两个方面进行考虑，一是土地利用类型自身的生境质量差异，二是人类活动等对生境质量的威胁。且多数研究基于InVEST模型进行生境质量评估，就模型可靠性而言，存在一些不足：(1) 模型将胁迫因子的威胁叠加，造成多种胁迫因子的威胁远高于个体威胁之和，计算的生境质量存在误差；(2) 研究区的生境质量一般是受内外两部分的生境胁迫，而在InVEST模型中往往忽略了研究区范围之外的生境威胁，计算结果可能存在威胁强度降低的现象。

本研究以拉萨河流域为研究对象，基于GEE平台，利用多源遥感数据和机器学习分类算法对流域土地利用类型进行解译，并用解译结果评估了流域生境质量，最终取得了一定研究成果，结果可为流域土地可持续利用、制定生态修复和土地整治策略提供科学借鉴。但是本研究是在30 m分辨率遥感数据的基础上完成的地类解译工作，研究过程存在一定的主观判断，不利于对土地利用变化和生境质量开展精准评估，因此，今后的研究应加强多尺度综合性研究，提升解译精度，为强化结果精度提供更加坚实的数据基础。

4 结 论

本研究基于GEE平台解译拉萨河流域30 a长

时间序列下的土地利用信息,结合InVEST模型分析1990—2020年拉萨河流域土地利用和生境质量时空变化特征,得到如下结论:

(1)针对高寒高海拔地区的土地利用分类问题,进行遥感数据可用性分析是有必要的,结果表明:筛选植被生长季,用前后年份的影像进行补充和替换缺失的数据,并去云后生成的年度合成影像,提高了地类分类效率和精度;此外,建立了一种结合Landsat影像光谱特征、纹理特征和地形特征的最优RF分类模型,实现了对拉萨河流域土地利用信息的分类,OA、Kappa系数和F1-score分别在88.16%、0.84和0.70以上。

(2)拉萨河流域草地分布最广,多年平均占比约56.74%,其次是未利用地,约占28.53%。20世纪90年代以来,拉萨河流域土地利用变化特征整体表现为"五增三减",草地、建设用地、林地、湿地和水域面积增加,耕地、冰川及永久积雪和未利用地面积减少,其中,建设用地的增长幅度最大,达到288.35%,而耕地缩减最多,达50.18%,且耕地减少主要是受到城镇范围的挤占;未利用地面积减少最为显著,其转出部分主要转化为草地,表明气候变化和生态修复工程对拉萨河流域生态恢复均起到了推动作用。

(3)1990—2020年拉萨河流域生境质量从空间分布上来看,高质量生境主要分布流域下游、西南侧以及源头区域,以草地、水体、冰川及永久积雪和湿地等土地利用类型为主;而拉萨市市辖区、达孜区、林周县、曲水县和墨竹工卡县县城周边,以及流域中上游的未利用地等区域生境质量较差。从数量变化上来看,研究期内流域整体生境质量呈"先减后增再减然后趋缓"变化,生境质量指数从0.53提升到0.57。

(4)研究识别了1990—2020年土地利用变化和生境质量变化的主要原因,人口增加和快速城市化加快了城镇范围扩张和耕地的减少,但气候变化和生态工程对拉萨河流域的生境质量改善均起到了积极作用。

参考文献(References):

[1] 周德志, 关颖慧, 张冰彬, 等. 基于土地利用变化的陕北地区生境质量时空演变及其驱动因素[J]. 北京林业大学学报, 2022, 44(6): 85-95. [Zhou Dezhi, Guan Yinghui, Zhang Bingbin, et al. Spatial-temporal evolution of habitat quality and its driving factors in northern Shaanxi based on land use change[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2022, 44(6): 85-95.]

[2] He J, Huang J, Li C. The evaluation for the impact of land use change on habitat quality: A joint contribution of cellular automata scenario simulation and habitat quality assessment model[J]. Ecological Modelling, 2017, 366: 58-67.

[3] 路亚方, 李红波. 2000-2020年基于土地利用变化的生境质量时空动态演变——以武汉城市圈为例[J]. 水土保持研究, 2022, 29(6): 391-398. [Lu Yafang, Li Hongbo. Spatio-temporal dynamic evolution of habitat quality based on land use change from 2000 to 2020: Taking Wuhan metropolitan area as an example[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(6): 391-398.]

[4] 陈雪玲, 孙梅玲, 吕一河, 等. 青藏东缘若尔盖高原土地利用时空变化特征及其驱动因素分析[J/OL]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(3): 306-315. [Chen Xueling, Sun Meiling, Lv Yihe, et al. Spatio-temporal variation characteristics and driving factors of land use in Zoige Plateau, eastern margin of Qinghai-Tibet Plateau [J/OL]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2023, 39(3): 306-315.]

[5] 陈伊多, 杨庆媛. 西藏自治区土地利用/覆被变化时空演变特征及驱动因素[J]. 水土保持学报, 2022, 36(5): 173-180. [Chen Yiduo, Yang Qingyuan. Spatio-temporal evolution characteristics and driving factors of land use/cover change in Tibet Autonomous Region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, 36(5): 173-180.]

[6] 彭海月, 任燕, 李琼, 等. 青藏高原土地利用/覆被时空变化特征[J]. 长江科学院院报, 2022, 39(8): 41-49, 57. [Peng Haiyue, Ren Yan, Li Qiong, et al. Spatio-temporal variation characteristics of land use/cover in Tibetan Plateau[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2022, 39(8): 41-49, 57.]

[7] 谭蕾, 杨桂山, 苏伟忠. 流域市场化生态补偿研究进展与展望[J]. 地理科学, 2022, 42(7): 1218-1228. [Tan Lei, Yang Guishan, Su Weizhong. Research progress and prospect of basin marketization ecological compensation[J]. Scientia Geographical Sinica, 2022, 42(7): 1218-1228.]

[8] 王锦东, 苏海磊, 李会仙, 等. 典型流域生态完整性评价和应用研究进展[J]. 环境工程, 2022, 40(10): 233-241. [Wang Jindong, Su Hailei, Li Huixian, et al. Research progress on ecological integrity assessment and application of typical watersheds[J]. Environmental Engineering, 2022, 40(10): 233-241.]

[9] 王静, 周绍昆, 孟繁林, 等. 土地利用演变对泸沽湖流域生态系统服务价值评估与时空变化的影响[J]. 西部林业科学, 2022, 51(5): 34-42. [Wang Jing, Zhou Shaokun, Meng Fanlin, et al. Effects of land use change on ecosystem service value assessment and spatial-temporal change in Lugu Lake Basin[J]. Journal of West China Forestry Science, 2022, 51(5): 34-42.]

[10] 江康威, 张青青, 徐海量. 基于土地利用/覆被变化的依格孜牙河流域生态环境质量评估[J]. 中国农村水利水电, 2022, 62

(11): 124-132, 140. [Jiang Kangwei, Zhang Qingqing, Xu Hailiang. Eco-environmental quality assessment of Yigeziya River Basin based on land use/cover change[J]. China Rural Water and Hydropower, 2022, 62(11): 124-132, 140.]

[11] 杨桂山, 马荣华, 张路, 等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略[J]. 湖泊科学, 2010, 22(6): 799-810. [Yang Guishan, Ma Ronghua, Zhang Lu, et al. Current situation and major problems of lakes in China and protection strategies[J]. Journal of Lake Sciences, 2010, 22(6): 799-810.]

[12] 杨桂山, 徐昔保. 长江经济带"共抓大保护、不搞大开发"的基础与策略[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(8): 940-950. [Yang Guishan, Xu Xibao. The foundation and strategy of the Yangtze River Economic Belt 'to jointly protect and not engage in large-scale development'[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(8): 940-950.]

[13] 王梦溪, 潘开文, 伍小刚, 等. 青藏高原耕地面积时空变化特征及其驱动因子[J]. 应用与环境生物学报, 2022, 28(4): 859-868. [Wang Mengxi, Pan Kaiwen, Wu Xiaogang, et al. Spatio-temporal variation characteristics and driving factors of cultivated land area in Qinghai-Tibet Plateau[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2022, 28(4): 859-868.]

[14] Venkatappa M, Sasaki N, Shrestha R P, et al. Determination of vegetation thresholds for assessing land use and land use changes in Cambodia using the Google Earth Engine cloud-computing platform[J]. Remote Sensing, 2019, 11(13): 1514.

[15] 刘东, 欧阳安, 陈聪, 等. 基于归一化植被指数的农田边界识别方法[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(11): 196-201. [Liu Dong, Ouyang An, Chen Cong, et al. Method of farmland boundary identification based on normalized difference vegetation index[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(11): 196-201.]

[16] 徐涵秋. 基于谱间特征和归一化指数分析的城市建筑用地信息提取[J]. 地理研究, 2005, 24(2): 311-320, 324. [Xu Hanqiu. Urban construction land information extraction based on spectral characteristics and normalized index analysis[J]. Geographical Research, 2005, 24(2): 311-320, 324.]

[17] 李辉霞, 李森, 周红艺, 等. 基于NDWI的海南岛西部沙漠化信息自动提取方法研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(2): 215-219. [Li Huixia, Li Sen, Zhou Hongyi, et al. Automatic extraction of desertification information in western Hainan Island based on NDWI[J]. Journal of Desert Research, 2006, 26(2): 215-219.]

[18] 刘元亮, 李艳, 吴剑亮. 基于LSWI和NDVI时间序列的水田信息提取研究[J]. 地理与地理信息科学, 2015, 31(3): 32-37, 2. [Liu Yuanliang, Li Yan, Wu Jianliang. Research on paddy field information extraction based on LSWI and NDVI time series[J]. Geography and Geo-information Science, 2015, 31(3): 32-37, 2.]

[19] 刘丽, 匡纲要. 图像纹理特征提取方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(4): 622-635. [Liu Li, Kuang Gangyao. Review of image texture feature extraction methods[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(4): 622-635.]

[20] Tian S, Zhang X, Tian J, et al. Random forest classification of wetland landcovers from multi-sensor data in the arid region of Xinjiang, China[J]. Remote Sensing, 2016, 8(11): 954.

[21] 邢瑾. 机器学习算法在高分辨率遥感影像土地覆被分类中的对比分析[J]. 甘肃科技, 2020, 36(3): 27-34. [Xing Jin. Comparative analysis of machine learning algorithms in land cover classification of high-resolution remote sensing images[J]. Gansu Science and Technology, 2020, 36(3): 27-34.]

[22] Ali S, Henchiri M, Sha Z, et al. A time series of land cover maps of South Asia from 2001 to 2015 generated using AVHRR GIMMS NDVI3g data[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(16): 20309-20320.

[23] 黄安东, 赵明松, 郜敏, 等. 1980-2020年安徽省土地利用时空演化特征[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(11): 4627-4635. [Huang Andong, Zhao Mingsong, Gao Min, et al. Spatial-temporal evolution characteristics of land use in Anhui Province from 1980 to 2020 [J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22(11): 4627-4635.]

[24] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, 70(5): 643-650. [Zhu Huiyi, Li Xiubin. Discussion on the method of regional land use change index model[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 70(5): 643-650.]

[25] 税燕萍, 卢慧婷, 王慧芳, 等. 基于土地覆盖和NDVI变化的拉萨河流域生境质量评估[J]. 生态学报, 2018, 38(24): 8946-8954. [Shui Yanping, Lu Huiting, Wang Huifang, et al. Habitat quality assessment of the Lhasa River Basin based on land cover and NDVI changes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(24): 8946-8954.]

[26] 潘耀, 尹云鹤, 侯文娟, 等. 基于土地利用及植被覆盖变化的黄河源区生境质量时空变化特征[J]. 生态学报, 2022, 42(19): 7978-7988. [Pan Yao, Yin Yunhe, Hou Wenjuan, et al. Temporal and spatial variation characteristics of habitat quality in the source region of the Yellow River based on land use and vegetation cover change[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(19): 7978-7988.]

[27] 朱杰, 龚健, 李靖业. 青藏高原东部生态敏感区生境质量时空演变特征——以青海省河湟谷地为例[J]. 资源科学, 2020, 42(5): 991-1003. [Zhu Jie, Gong Jian, Li Jingye. Spatial-temporal evolution characteristics of habitat quality in ecologically sensitive areas of eastern Qinghai-Tibet Plateau: A case study of Hehuang Valley in Qinghai Province[J]. Resources Science, 2020, 42(5): 991-1003.]

[28] 杜军, 胡军, 建军, 等. 拉萨近半个世纪气温的年际和年代际变化[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(10): 131-136. [Du Jun, Hu Jun, Jian Jun, et al. Interannual and interdecadal variation of air temperature in Lhasa in recent half century[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(10): 131-136.]

[29] 侯蒙京, 殷建鹏, 葛静, 等. 基于随机森林的高寒湿地地区土地覆盖遥感分类方法[J]. 农业机械学报, 2020, 51(7): 220-227. [Hou Mengjing, Yin Jianpeng, Ge Jing, et al. Remote sensing classification method of land cover in alpine wetland area based on random forest[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2020, 51(7): 220-227.]

Spatial-temporal evolution characteristics of land use change and habitat quality in the Lhasa River Basin over the past three decades

WANG Peng[1], QIN Sitong[2], HU Huirong[1]

(1. College of Ecology and Environment, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China;
2. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650233, Yunnan, China)

Abstract: This study used the Lhasa River Basin, which is a typical plateau basin to clarify the spatiotemporal characteristics of land use change and its impact on a plateau basin habitat quality. The google earth engine (GEE) platform and random forest classification algorithm were used to interpret the land use information of the Lhasa River Basin from 1990 to 2020, and to analyze the spatiotemporal dynamic changes of land use in the past 30 years. The InVEST model was integrated to evaluate the habitat quality of the basin, and to explore the characteristics of its habitat quality changes. The results showed that the efficiency and accuracy of land use classification improved by selecting the vegetation growing season, supplementing and replacing missing data with images obtained in the previous and following years, and generating annual composite cloud free images for land use classification in the alpine and high-altitude areas. An optimal RF classification model combining the spectral, textural, and topographical features of Landsat images was established to classify land use information in the plateau basin. The observed OA, Kappa coefficient, and the F1-score were 88.16%, 0.84, and 0.70, respectively. Since the 1990, the features of the land use change in the Lhasa River Basin have been characterized by "five increases and three decreases," with an increase being observed in the areas under grassland, construction, forest land, wetland, and water, while the areas under cultivated land, glaciers, and permanent snow or unused land having a decrease. Among them, the growth rate of construction land had the largest increase of 288.35%, while the largest decrease was detected in cultivated land with 50.18%, which could mainly be attributed to overpopulation in the urban areas. Most significant decrease occurred in the unused land area, and the changed area was mainly converted with grassland. During the study period, high quality habitats were mainly distributed in the downstream areas, southwest, and the main source areas of the basin, included the grassland, water, glaciers, permanent snow, and wetland. Poor qualities of habitats were observed in the Lhasa municipal district, Dazi District, Linzhou County, Qushui County, and Mozhugongka County, as well as in the unutilized land in the middle and upper reaches of the basin. The overall habitat quality of the watershed showed an alternating transition pattern of initial decrease, then increase, followed by a decrease, and a slowed down transition, while the habitat quality index increased from 0.53 to 0.57. Population growth and rapid urbanization accelerated the expansion of urban areas and the reduction of arable land, while climate change and ecological engineering played a positive role in improving the quality of habitat in Lhasa River Basin. This study provides a scientific basis and reference for formulating ecological restoration strategies, sustainable land use, and habitat quality improvement in a plateau area.

Keywords: land use; GEE platform; InVEST model; habitat quality; spatial-temporal evolution; Tibet Plateau